

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.01.024

热固性树脂基复合材料的回收方法研究进展^{*}

徐平来¹, 李娟¹, 李晓倩²

(1. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所宁波市高分子材料重点实验室, 浙江宁波 315201; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:从物理法和化学法角度对热固性树脂基复合材料国内外回收方法的研究进展进行了综述,重点介绍了高温热解法、流化床热解法、微波热解法、硝酸氧化法、溶剂分解法及近几年兴起的超/亚临界流体技术、绿色氧化法和源头设计法等化学回收方法及所取得的进展和成果,对碳纤维增强复合材料的高值回收前景进行了展望。指出没有一种方法能解决所有复合材料的回收问题,必须根据复合材料本身的特点发展合适的系统解决方案。

关键词:回收;降解;碳纤维;热固性树脂;复合材料

中图分类号: TQ319

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2013)01-0100-05

Recycling Progress on Thermosetting Resin Based Composites

Xu Pinglai¹, Li Juan¹, Li Xiaoqian²

(1. Ningbo Key Lab of Polymer Materials, Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo 315201, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The physical and chemical methods for fiber reinforced thermosetting resin based composites recycling were reviewed. It was emphasized that the progress and achievements of some conventional technologies and innovative processes, including pyrolysis at high temperature, fluidized bed processing, microwave heating, oxidation using nitric acid, solvolysis, supercritical fluid technology, green oxidation, source design, etc. The prospects for the application of chemical recycling carbon fiber with high quality were also discussed. It was concluded that there was no universal method to recycle all of the composites. It was also suggested that the systemic recycling approach should be developed according to the specific characteristics of each composites.

Keywords: recycling; decomposition; carbon fiber; thermosetting resin; composites

热固性树脂基复合材料具有密度小、比强度和比模量高,耐疲劳强度高、破损安全特性好等特点,应用非常广泛^[1]。随着经济和社会的发展,碳纤维(CF)增强热固性树脂基复合材料在航空航天、汽车工业、轨道交通、新能源、体育用品等高新技术产业领域的应用越来越多^[2-3]。但是热固性树脂固化后形成交联网状结构,具有不溶不熔的特性,因此其回收非常困难。而仅采用物理碾磨法回收的话,必然会造成高价值CF的浪费,故CF增强热固性树脂基复合材料的回收已成为一个亟待解决的问题。世界上很多国家,尤其是欧美发达国家^[4],已经出台很多关于热固性树脂及其复合材料处理的相关法令,禁止采用对环境有潜在危害的方法来处理这些固体废弃物。

早在20世纪90年代初,热固性树脂及其复合材料的回收就受到学术界和工业界的关注。涉及的方法主要包括物理法和化学法两种,其中物理法主要采用机械粉碎回收^[5-8],化学法主要包括热解法^[9-15]和溶剂法^[3,16-40]。笔者将对目前国内外回收方法及所取得的成果进行综述,并重点介绍化学回收法,尤其是近几年兴起的超/亚临界流体技术、绿色

氧化法和源头设计法等。

1 物理法

机械粉碎回收法作为比较早被研究的一种物理回收方法,主要依靠机械设备,通过机械力将热固性树脂及其复合材料碾碎、压碎或切碎等方式,获得尺寸不一的块体颗粒、短纤维等物质,具有工艺简单、不产生污染物等优点。B. Ralph等^[5]将苯乙烯固化的聚酯片状模塑料(SMC)碾成颗粒,获取聚酯颗粒、玻璃纤维(GF)、碳酸钙填料的混合物,然后再将这些混合物作为填料重新与聚酯或聚烯烃复合制作成块状模塑料(BMC)。结果显示利用碾碎的SMC作为填料增强体制作的聚酯BMC的力学性能能达到标准BMC产品的70%,而含回收填料的聚烯烃能达到其标准产品同等的模

^{*} 宁波市“新型车用高分子复合材料制备技术”创新团队项目(2009B21008)

联系人: 李娟,博士,副研究员,主要从事高分子材料绿色阻燃和回收的研究; 李晓倩,博士,助理研究员,主要从事环境污染机理及防治方法研究

收稿日期: 2012-11-05

量。C. E. Kouparitsas 等^[7]用碾压工艺从 GF 增强聚酯基复合材料、环氧树脂 (EP)/CF 复合材料、EP/芳纶纤维复合材料中获得不同长度的纤维,将回收得到的纤维重新与树脂复合,发现回收纤维复合材料的拉伸强度可与工业纤维复合材料的强度相媲美。J. Palmer 等^[8]采用锯齿状结构的空气分离器从热固性树脂复合材料回收得到整体性能不亚于原始纤维的纤维且回收得到的纤维可大量作为填料再次增强树脂。虽然机械粉碎回收法操作简单,可回收不同长度的短纤及复合材料粒子,但是纤维在回收过程中受到的破坏较大,无法得到长纤维。

2 热解法

2.1 高温热解法

高温热解法是在空气或惰性气体环境中利用热量使热固性树脂降解的方法。回收过程充分利用降解产生的热量,不仅可得到填料颗粒和表面干净的纤维材料,还可以得到有机液体燃料。A. Torres 等^[9]在高温下将不饱和聚酯/GF SMC 进行热解,获得可作为燃料或者汽油的 C_5 – C_{20} 有机化合物的液相组分及 CO 与 CO_2 混合物的气相组分; S. M. Sim 等^[11]在空气或氮气的高温环境中从 GF 增强聚酯中获得轻质组分。另外,水泥窑资源化处理技术也是常见的一种高温热处理技术,该方法通过将复合材料废弃物粉碎后加入到水泥窑中,加热温度 800 ~ 1 500 °C,物料在高温区域停留 1 h 左右,将有机物焚烧转化为部分热源,无机物转化为水泥原材料^[41]。高温热解法可以得到干净的纤维和一些燃料,但是如果回收条件控制不好的话,废气中会掺杂 CO 等污染物,且回收得到的纤维由于受高温的氧化作用,其机械强度降低幅度也较大。

2.2 流化床热解法

流化床热解法作为一种比较新颖的回收技术,是通过高温的空气热流对热固性树脂基复合材料进行高温热降解,与前面的热处理类似,但是工艺设备不同。处理过程充分利用降解过程产生的热量,通过旋风分离器得到填料颗粒和表面干净的纤维。J. R. Kennerley 等^[12]将 GF 增强热固性树脂在流化床煅烧回收 GF。实验结果表明,在热氧化条件下,高温和较长的处理时间都会使回收得到的纤维的强度下降。只有在较低的温度下和较短的处理时间才能回收得到可用的纤维。S. J. Pickering 等^[13–14]利用流化床在 450 °C, 1.3 m/s 的气流速率下回收热固性树脂复合材料废弃物。通过旋转过滤分离器得到长度不同的纤维及矿物填料。由于处理过程的热历史,提取的 E 型 GF 的拉伸强度只有原始 GF 的 50%,但纤维的模量几乎没受到高温的影响。回收纤维可替代一部分原始纤维与热固性树脂复合做成 BMC 产品。Zheng Y H 等^[15]也利用这个技术来回收含有热固性树脂的

印刷电路板 (PCB)。热固性树脂在 400 ~ 600 °C 分解的同时,GF 和贵金属物质被收集到旋风分离器,GF 的回收率为 95.4 %,且在 400 ~ 500 °C 时 GF 表面的涂层并未受到破坏。这项技术为解决 PCB 带来的环境问题展现出乐观的前景,但是也存在回收纤维受高温氧化作用而导致力学性能下降的问题。

2.3 微波热解法

微波热解法是指材料在微波腔内受微波热辐射作用发生降解的处理方法。E. Lester 等^[42]将 EP/CF 复合材料在多模式微波加热器中 3 kW 的功率下加热 8 s 分解 EP 组分提取 CF。提取的 CF 性能与原始纤维差别不大。P. N. D. Nguyen 等^[43]也研究了 CF 增强复合材料在不同功率和处理时间下性能的变化。结果发现 400 W 处理 40 s 或在 700 W 处理 10 s,复合材料的性能受到影响显著,特别是弯曲强度在高功率和长驻留时间下下降明显,但是对其模量没有影响。微波热解作为一种新开发的技术,具有绿色环保等优点,但是其降解产物对设备的影响以及纤维在微波的作用下性能的损失有待进一步研究。

3 溶剂法

3.1 硝酸氧化法

硝酸作为一种强氧化剂对降解胺类固化剂固化的 EP 效果明显,可在较短的时间和较低的温度下回收得到表面无树脂残留的纤维。Dang Weirong 等^[16]利用胺类固化剂固化的 EP 耐腐蚀性较差的特性,在硝酸溶液中将 1,8-*p*-二胺对孟烷固化的双酚 F 型 EP 降解,并在中性溶液中提取分解产物。将分解的产物与双酚 F 型 EP 混合聚合成新树脂,与固化剂重新固化成新的材料,其性能优于用纯双酚 F 型 EP 固化而成的材料。随后又成功降解了双酚 F 型 EP/GF 复合材料^[18],回收树脂在添加量不超过 30% 的条件下,弯曲性能优于纯树脂材料,实验表明 GF 的存在并不影响 EP 的降解。Liu Y Y 等^[17]将 EP/CF 复合材料在硝酸中分解得到以 2,4-二硝基苯酚和 2-硝基-4-羧基为主的降解产物,6 g 复合材料在 90 °C, 8M 的 100 ml 硝酸溶液中得到的 CF 的拉伸性能仅有 1.1% 的损失。硝酸作为一种具有强氧化强腐蚀的化学试剂,虽然在低温下能很好地分解 EP 复合材料,但是对实验设备的耐腐蚀性、抗氧化性要求都比较高,后处理也比较复杂。

3.2 溶剂分解法

溶剂分解法是在加热的条件下,利用溶剂的化学特性对聚合物解聚的方法。Y. Sato 等^[45]在 2.0 MPa 氮压下,在四氢萘或十氢萘中,430 ~ 450 °C 加热 60 min,丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料与聚氨酯及其泡沫液相裂解转化率均相当高。在四氢萘、十氢萘及环己醇中,在 440 °C 下,利用液相裂

解的方法可回收到高产率的双酚 A 型 EP 及聚碳酸酯 (PC) 单体苯酚和对异丙基苯酚,但在 300 ~ 350 °C 下需催化剂催化 PC 才能裂解^[46]。T. Iwaya 等^[47] 在二乙二醇单甲醚及苯乙醇的溶剂中,在 K_3PO_4 的催化下,在 190 ~ 350 °C 下反应 1 ~ 8 h,可降解不饱和聚酯,回收得到长 GF。溶剂法的缺点是反应液的后处理,这是下一步需要解决的问题。

日本日立化成工业 (株) 功能材料研究所在常压下, 200 °C 左右,采用高沸点醇或胺类溶剂,在催化剂 (NaOH, K_3PO_4) 作用下,使 EP 在溶剂的极性作用下发生醇解或胺解^[24],实现 EP 的解聚回收,其原理也可以应用到另一种热固性树脂——不饱和聚酯^[27] 上。用常压溶剂溶解法可以回收 GF、复合材料填料、小分子解聚物;未反应的醇和胺可重复利用,回收得到的 GF 及填料受到的污染较小,回收得到的有机相可作为 EP 的固化剂。

Yang Peng 等^[48] 最近报道了在聚乙二醇 (PEG) 中添加 KOH 作催化剂在 180 °C 处理 50 min 实现 EP 的分解;唐涛等^[49] 提出采用熔融浴对复合材料进行回收,即采用 LiOH, NaOH 或 KOH 等作为主要介质,并引入金属盐如硝酸盐或碳酸盐等作为添加剂,在 200 ~ 350 °C 处理 5 ~ 120 min 实现 EP 90% 以上降解。Li Juan 等^[50] 设计了一种绿色氧化法,采用绿色氧化剂双氧水和丙酮的协同体系在 70 °C 处理 30 min 即可实现 EP 90% 以上分解,而且 CF 的拉伸强度可以保持在原始纤维的 95% 以上,表现出良好的潜力。

3.3 超 / 亚临界流体法

超 / 亚临界流体是指温度及压力处于临界点或其附近的流体。流体在超 / 亚临界状态下,密度、黏度、溶解度、热容量、介电常数、化学活性等性质发生急剧变化。超 / 亚临界流体技术是利用流体在超临界条件下具有高活性,强溶解性,优异的流动性、渗透性、扩散性等性质,对聚合物基复合材料进行降解。

我国哈尔滨工业大学的白永平等^[3] 在超临界水中添加氧气,使降解速度提高,回收得到的 CF 强度几乎不降低;T. Sugeta^[20,39] 和 I. Okajima 等^[21] 采用间歇式的方法在超 / 亚临界水中研究了纤维增强树脂的降解行为。纤维增强树脂在 653 K 时 5 min 内几乎完全降解。R. Pinero-Hernanz 等^[24] 在超临界水中降解 CF 增强 EP。在 673 K, 28 MPa 下反应 30 min, CF 表面 EP 的除去率可达 79.3%,通过添加 KOH 作为碱催化剂,除去率可达 95.3%,回收后纤维的拉伸强度可达原始纤维强度的 90% 以上。此外, Xiu F R 等^[36] 利用超临界甲醇从废弃印刷电路板中回收聚合物和金属材料。在温度为 300 ~ 420 °C,反应时间为 30 ~ 120 min,固液比为 1 : 10 ~ 1 : 30 g/mL 的条件下,研究了超临界甲醇中获得降解产物的历程和废弃印刷电路板的解聚机理。通过气相

色谱-质谱联用仪分析,降解产物主要为含苯酚及其甲基苯酚衍生物,且发现当反应温度增加时甲基苯酚衍生物的含量也随之增加。R. Pinero-Hernanz 等^[33] 使用亚 / 超临界醇以间歇式的方法在半连续反应器处理 CF 增强的复合材料。在 623 K 反应 70 min, EP 的除去率可达 98%,而在相同的溶剂流作用下在 548 K 使用 0.02 mol/L KOH,除去率可达 96.5%。Pickering^[31,33-35] 的研究小组在超临界丙醇、异丙醇环境下处理 EP 复合材料,研究表明热分解作用在 EP 化学键的断裂过程起着重要的作用。超流体能快速地、从主要的反应区域范围内转移降解产物至次要的反应区域内,减少了焦炭的形成量。KOH 作为催化剂能降低反应的温度,同时也促使异丙醇形成更复杂醇的 Guerbet 反应的发生。利用超临界 CO_2 回收 EP 复合材料的例子较少。潘军齐等^[37-38] 研究了超临界 CO_2 回收处理废弃印刷线路板的工艺过程,实验表明在 270 °C, 35 MPa 的条件下反应 4 h,线路板各材料层分离效果明显,可实现金属材料层和纤维强化层的高效回收。也有一些关于溶剂催化分解的专利报道。刘宇艳^[51]、张剑秋^[52]、唐涛^[53-54] 等以水作为环境,添加不同的催化剂对 CF 增强 EP 复合材料进行回收。

超 / 亚临界流体技术作为一种新颖的回收方法,具有原料廉价、回收过程清洁无污染、回收得到的 CF 表面干净且性能较为优异等优势,但是超临界条件要求比较苛刻。大部分超临界流体要求高温高压,对反应设备的要求比较高且造价昂贵,安全系数低。总之,超临界流体技术回收热固性树脂复合材料还停留在实验室阶段,工业化放大尚存在很多的问题。

3.4 源头设计法

前面提到的所有的方法均是针对现有复合材料树脂的回收方法。鉴于热固性树脂本身不溶不熔的特性,最近有研究人员^[55-58] 从源头设计,在 EP 上引入活性共价键,在光、热、辐照等外界条件作用下,实现活性共价键的断裂和重组,赋予 EP 可再成型和再加工能力,这为复合材料的回收提供了一个新的思路,但是活性共价键的类型局限性比较大,再成型条件要求也比较苛刻,因此这一工作目前仅停留在理论研究阶段,距离应用还有很长的路要走。如果将来技术上能获得突破,那么该方法将为彻底解决热固性树脂的回收问题提供最佳的解决方案。

4 复合材料回收前景展望

随着技术的进步,轻量化和低碳环保的呼声越来越高,CF 增强热固性复合材料由于综合性能优异,应用领域和用量不断增加,给环境带来的压力也越来越大,且这些固体废弃物往往含有高值 CF,因此其高值回收再利用具有重要意义。

据统计,2008年世界上对CF的需求量达35 000 t,并且以每年12%的速度递增,预计到2014年世界范围内CF的需求量达到70 000 t。其中航空航天工业约占CF总消费量的40%,工业市场和娱乐市场分别占总消费的40%和20%。一架波音787或空客A350中含有50%以上的CF增强复合材料,军用飞机中CF增强复合材料的含量也接近这个比例。据预计,目前约有700架飞机将进入报废期,到2025年将有8 500架商用飞机报废,而每架飞机退役后将产生大量CF增强复合材料废弃物。另外,风电、高速列车、电动汽车等产业对CF的需求量也逐年递增,需要回收的CF增强复合材料的数量将越来越多。从法律法规方面来看,各国对固体废弃物的处理要求越来越严格,目前欧洲一些国家关于报废交通工具等纤维增强复合材料废弃物的处理已出台相应法律法规:(1)从2006年开始,报废车辆车身质量中的85%必须重新利用,只用15%可以通过填埋处理;(2)从2015年起,报废车辆车身质量中的85%必须回收再利用,10%要实现能源回收,只有5%可通过填埋处理。从低碳经济与可持续发展的发展要求来看,生产每公斤CF最高可损耗能量165 kW,耗费40英镑原材料,在不违反法规的前提下,通过填埋处理每公斤废弃物要耗费0.2英镑。综合各个方面,变废为宝,回收CF增强复合材料不仅解决废弃物给环境带来的污染问题,还能回收高价值的CF^[2,44]。目前已经报道过利用微波辐射法从CF增强EP复合材料回收CF用于制作抗静电材料^[59-60]、高模量的复合材料^[61]、与聚合物复合^[62]等。

5 结语

综上所述,每种回收方法都有其优点,也有不可回避的缺点。由于复合材料结构各异,所用树脂基体也千差万别,没有任何一种方法能解决所有复合材料的回收问题,因此必须根据复合材料本身的特点,发展合适的系统解决方案,解决每一类材料的回收问题。总体上看,复合材料的回收技术必然向着绿色环保、低能耗、低腐蚀的方向发展,且要求回收产物可高值再利用,满足可持续发展的要求。

参考文献

- [1] Sun M.L. Principle and technology of epoxy applications[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2002.
- [2] Pimenta S, et al. Waste Manag, 2011, 31(2):378-392.
- [3] Bai Y P, et al. Mater Design, 2010, 31(2):999-1 002.
- [4] Robert T J. Reinf Plast Compos, 2007, 51(2):10-13.
- [5] Ralph B, et al. Recycling SMC [C]. The 46th Annual Conference, Composite Institute, the Society of the Plastics Industry, Inc, 1991:27.
- [6] Yang Yongxiang, et al. Chem Eng Process, 2012, 51:53-68.
- [7] Kouparitsas C E, et al. Polym Compos, 2002, 23 (4):682-689.
- [8] Palmer J, et al. Composites Part A, 2009, 40(4):490-498.
- [9] Torres A, et al. Fuel, 2000, 79(8):897-902.
- [10] Jiang G, et al. Thermochimica Acta, 2007, 454(2):109-115.
- [11] Sim S M, et al. Adv Compos Mater, 2010, 19(3):289-297.
- [12] Kennerley J R, et al. J Vinyl Additive Technol, 1997, 3(1):58-63.
- [13] Pickering S J, et al. Compos Sci Technol, 2000, 60(4):509-523.
- [14] Jiang G, et al. Appl Surf Sci, 2008, 254(9):2 588-2 593.
- [15] Zheng Y H, et al. J Hazard Mater, 2009, 170(2-3):978-982.
- [16] Dang Weirong, et al. Polymer, 2002, 43(10):2 953-2 958.
- [17] Liu Y Y, et al. J Appl Polym Sci, 2004, 94(5):1 912-1 916.
- [18] Dang Weirong, et al. Polymer, 2005, 46(6):1 905-1 912.
- [19] Chien Y C, et al. Pergamon, 2000, 34.
- [20] Sugeta T, et al. Kobunshi Ronbunshu, 2001, 58(10):557-563.
- [21] Okajima I, et al. Kagaku Kogaku Ronbunshu, 2002, 28:553-558.
- [22] 孙路石. 废弃印刷线路板的热解机理及产物回收利用的试验研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2004.
Sun Lushi. Experimental study on the pyrolysis characteristics and resource recycling of the products of printed circuit board scrap [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004.
- [23] Suyama K, et al. Polym Degrad Stab, 2007, 92(2):317-322.
- [24] Pinero-Hernanz R, et al. Composites Part A, 2008, 39(3):454-461.
- [25] 陈中武, 等. 热固性树脂, 2008, 23(3):36-40, 51.
Chen Zhongwu, et al. Thermosetting Resin, 2008, 23(3):36-40, 51.
- [26] Brunner G J. Supercrit Fluid, 2009, 47(3):373-381.
- [27] Liu Y Y, et al. Mater Sci Eng A, 2009, 520(1-2):179-183.
- [28] Savage P E. J. Supercrit Fluid, 2009, 47(3):407-414.
- [29] Mormann W, et al. Macromol Symp, 2006, 242:165-173.
- [30] Yang Y, et al. Polym Degrad Stab, 2002, 75(1):185-191.
- [31] Hyde J R, et al. Composites, Part A, 2006, 37(11):2 171-2 175.
- [32] Kamimura A, et al. Chem Lett, 2006, 35(6):586-587.
- [33] Pinero-Hernanz R, et al. J Supercrit Fluid, 2008, 46(1):83-92.
- [34] Jiang G, et al. Compos Sci Tech, 2009, 69(2):192-198.
- [35] Jiang G Z, et al. Ind Eng Chem Res, 2010, 49(10):4 535-4 541.
- [36] Xiu F R, et al. J Hazard Mater, 2010, 178(1-3):628-634.
- [37] 潘君齐, 等. 西安交通大学学报, 2007, 41(5):625-627.
Pan Junqi, et al. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(5):625-627.
- [38] 潘君齐, 等. 合肥工业大学学报:自然科学版, 2007, 30(10):1 287-1 291.
Pan Junqi, et al. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2007, 30(10):1 287-1 291.
- [39] Sugreta T, et al. Japanese Journal of Polymer Science and Technology, 2001, 58(10):557-563.
- [40] 杨俊兰, 等. 流体机械, 2008, 36(1):53-57, 13.
Yang Junlan, et al. Fluid Machinery, 2008, 36(1):53-57, 13.
- [41] 陈光. 中国水泥, 2006(8):72-73.
Chen Guang. China Cement, 2006(8):72-73.

- [42] Lester E, et al. *Mater Res Bull*, 2004, 39(10):1 549–1 556.
- [43] Nguyen P N D, et al. *AJChE*, 2007, 7(2):157–164.
- [44] Connor M L. Characterization of recycled carbon fibers and their formation of composites using injection molding [D]. Raleigh, N.C.: North Carolina State University, 2008.
- [45] Sato Yoshiki. Monomert recycling of thermotting resins [C]. The 1 st international symposium on feedstock recycling of plastics, Sendai, 1999.
- [46] Sato Y, et al. *Polym Degrad Stab*, 2005, 89(2):317–326.
- [47] Iwaya T, et al. *J Mater Sci*, 2008, 43(7):2 452–2 456.
- [48] Yang Peng, et al. *Polym Degrad Stab*, 2012, 97(7):1 101 –1 106
- [49] 唐涛,等. 一种熔融浴及用其回收热固性环氧树脂或复合材料的方法: 中国, CN102115547A[P]. 2011-07-06.
- Tang tao, et al. A method for recycling thermosetting epoxy resin or its composites in molten bath: China, CN102115547A[P]. 2011-07-06.
- [50] Li Juan, et al. *Green Chem*, 2012, 14:3 260–3 263.
- [51] 刘宇艳,等. 水相分解热固性环氧树脂或其复合材料的方法: 中国, CN101148535[P]. 2008-03-26.
- Liu Yuyan, et al. A method for decomposition of thermosetting epoxy resin or its composites in aqueous phase: China, CN101148535[P]. 2008-03-26.
- [52] 张剑秋,等. 高温水相分解热固性环氧树脂或其复合材料的方法: 中国, CN101519505[P]. 2009-09-02.
- Zhang Jianqiu, et al. A method for decomposition of thermosetting epoxy resin or its composites in aqueous phase with high temperature: China, CN101519505[P]. 2009-09-02.
- [53] 唐涛,等. 一种从环氧树脂/纤维复合材料中回收纤维的方法: 中国, CN101787145A[P]. 2010-07-28.
- Tang Tao, et al. A method for recycling fiber from epoxy resin / fiber composites: China, CN101787145A[P]. 2010-07-28.
- [54] Liu Y, et al. *Polym Degrad Stab*, 2012, 97(3):214–220.
- [55] Bowman C N, et al. *Angew Chem Int Ed*, 2012, 51:4 272–4 274.
- [56] Montarnal D, et al. *Science* 2011, 334:965–968.
- [57] Amamoto Y, et al. *Angew Chem Int Ed*, 2011, 50:1 660–1 663.
- [58] Wojtecki R J, et al. *Nat Mater*, 2011, 10:14–27.
- [59] Masatoshi I. *J Mater Sci*, 1998, 23:45–53.
- [60] Wong K H, et al. *Composites Part A*, 2010, 41(6):693–702.
- [61] Turner T A, et al. *Plas Rub Compos*, 2010, 39(3–5):151–156.
- [62] Wong K H, et al. *SAE Int J Aerosp*, 2010, 2(1):225–231.

SABIC 复合材料提高呼吸器安全及耐用性

营救人员、危险品处理人员、消防队员和矿工在极度危险的环境中工作时都需要依靠自给式呼吸器 (SCBA)。为提高 BioPak 240R Revolution SCBA 外部壳体的抗冲击强度和静电释放能力, Biomarine(一家总部设在宾夕法尼亚州艾克斯斯顿的 SCBA 制造商)将现有的聚碳酸酯 (PC) 基复合材料换成 SABIC 公司 LNP Faradex 复合材料 (该复合材料应用了 Lexan EXL 共聚物技术专利并使用了独特的不锈钢导电纤维),同时提供了世界一流的设计和注塑专业知识,最终不但使设备外壳变得更加坚韧,而且还提供了出色的静电释放 (ESD) 效果,同时美观度也大为提高。

“以前的材料经常发生破裂,常常导致零件破损,而且静电释放的效果也严重不一致”, Biomarine 副总裁 J. Douglas Anderson 说:“正因为如此,我们不得不拒收整批整批的产品,这使我们浪费了许多时间、金钱和资源。SABIC 的专家针对这两个问题提供了一个解决方案,在这个解决方案中, Faradex 复合材料与 PC 复合材料相比,将耐冲击性提高了 25%,而且提供了卓越的 ESD 性能。”

ESD 能力对于呼吸器非常重要,因为它将提供一条静电荷接地路径,塑料树脂上的静电荷积聚可能导致致命的火花。Faradex 复合材料的基层材料混合了不锈钢导电纤维,有助于消除静电荷。导电性贯穿于整个零件,因此有助于提供一致的保护,因为导电性不会因表面的划痕或缺口而中断。与标准 PC 等级相比,采用基层材料的 Lexan EXL 共聚物可提供卓越的抗冲击性和低温延展性。所有 LNP Faradex 复合材料都符合有害物质限制指令 (RoHS),并且提供了基

于非溴化、非氯化阻燃系统的等级。

LNP Faradex 复合材料的另一个重要特性是它可以提前上好颜色,从而不必二次喷涂。这种材料还非常适合电磁干扰 / 射频干扰屏蔽应用,如消费和国防电子、医疗保健、工业设备和电信硬件。

(慧聪塑料网)

欧盟研发 Sustain Comp 系列生物塑料产品

由欧盟出资的 Sustain Comp 计划历时四年现已宣告完成,合作各方已开发出了由木纤维增强的生物塑料制成的演示产品。

该计划汇聚了作为欧盟第七框架计划签约方的八个欧洲国家的 17 家合作伙伴。项目预算额 950 万欧元,其中 650 万欧元由欧委会提供。

根据 Sustain Comp 计划设计并生产的演示产品包括:一种用于电子设备的缓冲系统 (由瑞典 SCA 开发);一种巴士座椅挤出件 (Elastopoli 公司,芬兰);玩具积木块 (Polykemi 公司,瑞典);一款广告显示板 (3A Composites 公司,瑞士);和可堆肥餐具 (Novamont 公司,意大利)。

除餐具外,所有产品都是采用淀粉基生物塑料 PLA 并填充木纤维的复合材料制成的。在餐具中, Novamont 公司使用的是其自有品牌 MaterBi 木纤维增强的生物塑料。

总部位于西班牙 Valencia 的 Itene 包装研究所、总部位于瑞典的 Innventia 公司和 Novamont 公司合作,为不同应用而开发的新材料进行可持续性评估。

Novamont 公司特别提到的两项突破是在巴士座椅演示产品中用木纤维取代了玻璃纤维,进而确保其耐久性,还为可堆肥的餐具组赋予可降解能力。

(塑料新闻)